جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ سی و ششم، زمستان ۱۳۹۹

صص ۱۲۰- ۱۰۵

: https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67400.1001

مقاله پژوهشی

بررسی دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر نوع اصلی در نیمکره شمالی

محمد مرادی[۱] - دانشیار گروه هواشناسی همدیدی و دینامیکی پژوهشگاه هواشناسی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۱۸

چکیده

در این پژوهش با استفاده از داده‌های باز تحلیلی MERR2، دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر نوع اصلی در زمستان‌های نیمکره شمالی (از نوامبر تا مارس) در دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۷۹ بررسی شد. این بررسی بر اساس تغییرات میانگین مداری مؤلفه مداری باد در مدار ٦٠ درجه شمالی و در تراز فشاری ده هکتوپاسکال انجام شده است و بر پایه آن، روز تولد، روز صفر و دوره‌های رشد، بلوغ، پیری و روز مرگ تعریف شده است. نتایج حاصل از بررسی میانگین مداری دما و مؤلفه مداری باد نشان داد که در این دوره آماری در نیمکره شمالی، ۱۹ مورد گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر نوع اصلی رخ داده است. از بین موارد آشکار شده، بیشترین افزایش میانگین مداری دما به میزان ۵۱/۸ کلوین در دوره کوتاه یازده روزه به گرمایش ژانویه ۲۰۰۹ اختصاص دارد که در طول دوره آماری انتخابی در نیمکره شمالی تا کنون چنین افزایشی، ثبت نشده است. نتایج حاصل از تحلیل دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهرنوع اصلی نشان داد که کوتاه‌ترین و بلندترین دوره رشد به ترتیب با ٦ و ٣٧ روز، در موردهای ٦ ژانویه ٢٠١٣ و ٢٣ ژانویه ١٩٨٧ ثبت شده است. بلندترین دوره بلوغ با ١٧ روز تداوم، به گرمایش ٢٣ ژانویه ١٩٨٧ اختصاص دارد. بلندترین دوره پیری در این دوره آماری نیز ٢٦ روز است که به گرمایش ٢٤ ژانویه ٢٠٠٩ مربوط می‌شود. کوتاه‌ترین و بلندترین طول دوره زندگی نیز در این دوره آماری به ترتیب به گرمایش ١ فوریه ٢٠١٧ و ٢٣ ژانویه ١٩٨٧ اختصاص دارد. همچنین مشخص شد که در این دوره آماری به‌طور متوسط، دوره رشد ١٩/٤، دوره بلوغ ٤/٣، دوره پیری ٧/٢ و طول دوره زندگی ٣٠/٩ روز است.

کلیدواژه‌ها: گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر نوع اصلی، چرخه زندگی، روز-صفر.

[۱] نویسنده مسئول : ۰۹۱۲٤۲۳۷۹٥٤ Email : moradim36@gmail.com

۱-مقدمه

گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر به یک آشفتگی مقیاس سیاره‌ای زمستانه پوشن‌سپهر قطبی اشاره دارد که به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای دما و گردش در جو میانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (اگی‌یاوا و همکاران، ۲۰۱۷)[1]. در اواخر پاییز تا اوایل بهار که فقط امواج راسبی مقیاس سیاره‌ای می‌توانند از وردسپهر به پوشن‌سپهر نفوذ کنند، در اثر شکست در پوشن‌سپهر فوقانی، سبب تضعیف شارش پایه غربی و وارونگی جهت آن به شرقی می‌شوند. این فرایند سبب افزایش ناگهانی دما در داخل تاوه قطبی می‌شود و گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر را ایجاد می‌کند (کرمی و همکاران، ۱۳۹۷). این پدیده که اولین بار در دهه ۱۹۵۰ شناسایی شده است می‌تواند سبب کاهش سرعت باد غربی و تغییر جهت آن به شرقی شود که درنتیجه به شکست تاوه قطبی منجر شود (مرادی، ۱۳۹۹).

گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر از دیدگاه سازمان هواشناسی جهانی، به دو نوع اصلی و فرعی[2] دسته‌بندی شده است (مک اینتورف، ۱۹۷۸)[3]. بر اساس تعریف این سازمان، گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر از نوع فرعی زمانی رخ می‌دهد که میانگین مداری دمای پوشن‌سپهر روی مدار شصت درجه شمالی، در مدت یک هفته بیش از بیست‌وپنج کلوین افزایش یابد. نوع اصلی این پدیده زمانی رخ می‌دهد که در مدت افزایش جهشی دمای پوشن‌سپهری، میانگین مداری مؤلفه مداری باد در روی مدار شصت درجه شمالی در تراز ده هکتوپاسکال، از مقدار مثبت به منفی تغییر کند و سپس به مقدار مثبت برگردد (یامازاکی و همکاران، ۲۰۱۹)[4].

پدیده گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر در خارج از ایران، به‌وسیله پژوهشگران مختلف و از دیدگاه‌های گوناگونی بررسی شده است. برای بررسی این پدیده، برخی از پژوهشگران (مانند رائو و همکاران، ۲۰۱۸؛ باتلر و گربر، ۲۰۱۸)[5] از تعریف سازمان هواشناسی جهانی استفاده کردند و برخی نیز (مانند چارلتون و پلوانی، ۲۰۰۷؛ باتلر و همکاران، ۲۰۱۷؛ کیم و همکاران، ۲۰۱۸)[6] این تعریف را کمی تغییر دادند. از آنجائی که آشکارسازی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر به نوع تعریف و استفاده از داده‌های هواشناسی و میزان تفکیک افقی داده‌ها بستگی دارد، ازاین‌رو بدیهی است که در تعیین آن می‌توان با به‌کارگیری تعاریف مختلف و داده‌های گوناگون، تاریخ‌های آشکارسازی مختلفی به دست آورد.

برخی پژوهشگران (مانند هنز و همکاران، ۲۰۰۷)[7] از دیدگاه تاوائی پتانسیلی و برخی نیز (مانند باتلر و همکاران، ۲۰۱۵) از دیدگاه آماری به بررسی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر پرداخته‌اند. برخی پژوهشگران (مانند یامازاکی و همکاران، ۲۰۱۹) انواع گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر را بررسی کرده‌اند.

---

1 Ageyava at el
2 Major, Minor
3 McInturff
4 Yamazaki at el
5 Rao at el, Butler and Gerber
6 Charlton and Polvani , Butler at el , Kim at el
7 Hengde at el

دسته‌ای از پژوهشگران اثر گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر نوع اصلی بر جابجایی تاوه قطبی را بررسی کرده‌اند (مانند کوهن و جونز،۲۰۱۱)[1] و دسته‌ای دیگر اثر آن را بر تقسیم هسته تاوه به دو هسته مجزا مطالعه کرده‌اند (مانند وارجین و کیریشوف، ۲۰۱۹؛ کوی و پاوسون، ۲۰۱۹)[2]. برخی نیز (مانند چوی و همکاران، ۲۰۱۹)[3] به مطالعه اثر این پدیده بر جابجایی و تقسیم هسته تاوه قطبی پرداخته‌اند. در زیر به برخی از نتایج به دست آمده از این پژوهش‌ها به‌طور کوتاه اشاره می‌شود.

باتلر و همکاران (۲۰۱۷)، برای تعیین تاریخ دقیق رخداد گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر، ویژگی‌های این پدیده را تغییر دادند و در دوره آماری ۲۰۱٤–۱۹۵۸، با استفاده از شش نوع داده متفاوت، چهل و یک رخداد گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر از نوع اصلی را در نیمکره شمالی و یک مورد را در نیمکره جنوبی آشکار کردند. کیم و همکاران (۲۰۱۷)، برای ارزیابی فراوانی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر، تعریف سازمان جهانی هواشناسی را بر پایه گرایش میانگین مداری مؤلفه مداری باد روی مدار شصت درجه شمالی تغییر دادند و سپس در دوره آماری ۲۰۰۲–۱۹۵۸ فراوانی رخداد گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر را با دو تعریف مجزا برآورد کردند. چوی و همکاران (۲۰۱۹)، بر اساس اولین روزی که علامت میانگین مؤلفه مداری از مثبت به منفی تغییر می‌کند، روز صفر یا روز مرکزی را تعریف کردند و برای دوره آماری ۲۰۱۳–۱۹۵۸، با استفاده از چند مجموعه داده، تعداد ٤۳ رخداد گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر را آشکار کردند. لیم‌پاسوان و همکاران (۲۰۰٤)[4]، با استفاده از داده‌های بایگانه NCEP/NCAR در دوره آماری ٤٤ ساله، تعداد ۳۹ گرمایش ناگهانی پوشن سپر نوع اصلی و فرعی را آشکار کردند و چرخه زندگی این پدیده را تعیین کردند. در این مطالعه، چرخه زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر به ۵ مرحله تولد، رشد، بلوغ، پیری و مرگ دسته‌بندی شده است (مطابق شکل ۱). این دسته‌بندی بر اساس روز صفر و سی و هفت روز قبل و بعد از آن ارائه شده است.

در ایران گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. برخی پژوهشگران مانند ریوندی و همکاران (۱۳۹۳) و میرکنی و همکاران (۱۳۹۲) به‌طور جنبی به این پدیده پرداخته‌اند. آن‌ها در بررسی موردی زمستان‌های سرد، علل رخداد سرما را در زمستان‌های تحت بررسی اثر گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر روی تاوه قطبی و جابجایی آن به مناطق مورد نظر دانسته‌اند.

کرمی و همکاران (۱۳۹۷)، در بررسی حالت‌های بازتاب، جذب و انتشار امواج راسبی انتشار یابنده بالاسو، با استفاده از داده‌های باز تحلیل ERA-Interim در زمستان‌های دوره آماری ۲۰۱٤–۱۹۷۹ نشان دادند که در سال‌هایی که پوشن‌سپهر حالت بازتابی دارد، تنها در ۳۳ درصد از زمستان‌ها احتمال رخداد پدیده گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهری وجود دارد. این در حالی است که در زمستان‌هایی که پوشن‌سپهر حالت غیربازتابی دارد، چون احتمال

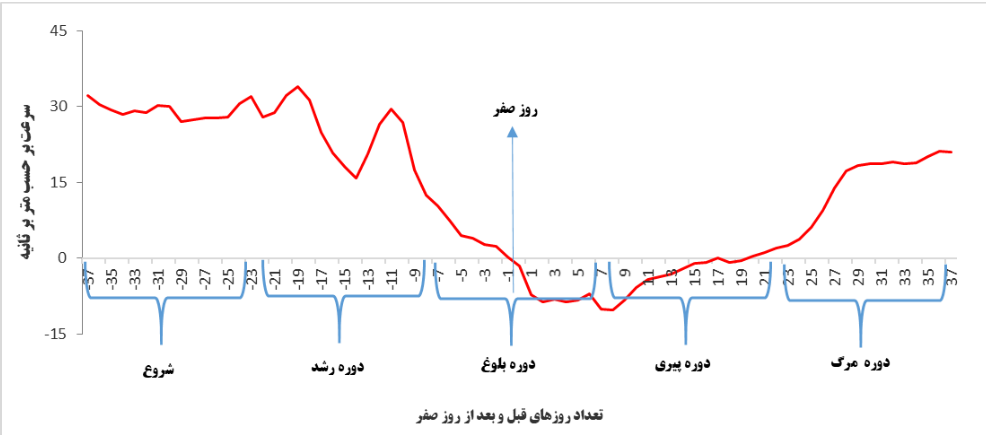
---

1 Cohen and Jones
2 Vargin and Kiryushov , Coy and Pawson
3 Choy at el
4 Limpasuvan at el

انتشار و نفوذ امواج راسبی از وردسپهر به پوشن‌سپهر زیرین در فاصله عرض جغرافیایی ۹۰-۷۰ درجه شمالی بیشتر است، پس احتمال رخداد این پدیده نیز بیشتر است به همین دلیل در این شرایط، در حدود ٦٢ درصد از زمستان‌ها احتمال رخداد گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر وجود دارد.

اولین مقاله در ایران که به‌طورجدی به گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر پرداخته است، به‌وسیله مرادی (۱۳۹۹) ارائه شده است. در این پژوهش، در دوره آماری ۲۰۱۹-۱۹۷۹ اثر گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر اصلی بر تاوه قطبی پوشن‌سپهری بررسی شده است. این پژوهشگر، با استفاده از داده‌های میانگین مداری دمای تراز ده هکتوپاسکال در روی مدار شصت تا نود درجه شمالی در بازه زمانی اول دسامبر تا پایان مارس و میانگین مداری مؤلفه مداری باد در روی مدار شصت درجه شمالی در این تراز و تغییر جزئی در تعریف سازمان هواشناسی جهانی، نوزده گرمایش ناگهانی نوع اصلی آشکار کرد.

در این تحقیق سعی شده است تا در زمستان‌های دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۷۹، دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر از نوع اصلی بررسی شود. آنچه این پژوهش را از پژوهش‌های پیشین متفاوت می‌کند، نحوه دسته‌بندی و تعیین دوره زندگی این پدیده است که با تعاریف پژوهشگران پیشین (لیم‌پاسوان و همکاران، ٢٠٠٤)، متفاوت است. در ایران نیز تا کنون دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر بررسی نشده است و این تحقیق می‌تواند به‌عنوان اولین پژوهش در این مورد معرفی شود. شایان ذکر است که برای تعیین دوره زندگی نیز از تعاریف جدیدی استفاده شده است.



شکل ۱- دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر نوع اصلی بر اساس پژوهش لیم‌پاسوان و همکاران (٢٠٠٤).

۲- مواد و روش‌ها

برای آشکارسازی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر، از داده‌های باز تحلیلی ناسا[1] موسوم به MERRA2[2] استفاده شد. مزیت استفاده از این داده‌ها دسترسی آسان به آن‌ها است. به‌طوری‌که بدون نیاز به محاسبات پیچیده و کنترل کمی و کیفی داده، به‌طور روزانه میانگین مداری دما در قطاع ۹۰–۶۰ درجه شمالی و نیز میانگین مداری مؤلفه مداری بردار باد در روی مدار ۶۰ درجه شمالی در تراز ده هکتوپاسکال از اول ژوئیه سال قبل تا سی‌ام ژوئن سال بعد در دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰ در دسترس قرار دارد. در این پژوهش بر اساس تعریف زیر برای گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر نوع اصلی، نوزده گرمایش نوع اصلی آشکار شد (مرادی، ۱۳۹۹):

نوع اصلی گرمایش موقعی است که میانگین دمای تراز ده هکتوپاسکال در روی مدار شصت تا نود درجه شمالی در بازه زمانی اول نوامبر تا پایان مارس، بیش از ۲۵ کلوین افزایش یابد و در این فاصله، میانگین مؤلفه مداری باد در روی مدار شصت درجه در این تراز از مقادیر مثبت به منفی تغییر کند و تا پایان مارس علامت آن به مقادیر مثبت برگردد. درصورتی‌که میانگین مداری مؤلفه مداری باد تغییر علامت ندهد و مقدار کاهش آن بیش از ۲۰ متر بر ثانیه باشد، نوع گرمایش فرعی در نظر گرفته شده است. این شرایط محدود کننده سبب می‌شود تا تاریخ موردهای آشکار شده نظم بهتری داشته باشند.

برای تعریف دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن سپهر، از نحوه تغییرات میانگین مداری باد در تراز ده هکتوپاسکال استفاده شده است. این دوره در این پژوهش بر اساس تعاریف زیر انجام شد:

- روز تولد: اولین روزی که میانگین مداری مؤلفه مداری باد از حالت بیشینه کاهش می‌یابد.
- روز صفر: اولین روزی است که مقدار میانگین مداری مؤلفه مداری باد منفی می‌شود.
- دوره رشد: دوره‌ای است که میانگین مداری باد کاهش یافته تا به اولین مقدار منفی (روز صفر) تغییر کند.
- دوره بلوغ: دوره‌ای است که در آن میانگین مداری باد از روز صفر به کمترین مقدار خود می‌رسد.
- دوره پیری: دوره‌ای است که در آن میانگین مداری باد از کمترین مقدار خود با افزایش، به اولین مقدار مثبت تغییر می‌کند.
- زمان مرگ: اولین روزی است که میانگین مداری باد مثبت می‌شود.

این تعاریف سبب شده است تا دوره زندگی حالت‌های موردی که در آن‌ها برخی مراحل کمتر از پانزده روز طول کشیده است و تعداد آن‌ها نیز خیلی زیاد است، بررسی شود. بعلاوه دوره زندگی برخی موردها نیز که کوتاه

1 National Aeronautics and Space Administration (NASA)
2 Modern-Era Retrospective-analysis for Research and Applications version 2

است را در بر می‌گیرد. این ویژگی‌ها تعاریف ارائه شده توسط پژوهشگران پیشین را تکمیل‌تر کرده است. برای انجام این تحقیق مراحل زیر انجام شده است:

۱- رسم نمودار سری زمانی میانگین مداری دما و مؤلفه مداری باد در تراز ده هکتوپاسکال در روی مدار شصت درجه شمالی در روزهای مختلف سال از یکم ژوئیه تا سی‌ام ژوئن سال بعد برای تعیین تاریخ رخداد گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر و سپس تعیین نوع آن‌ها بر اساس تعریف ارائه شده.

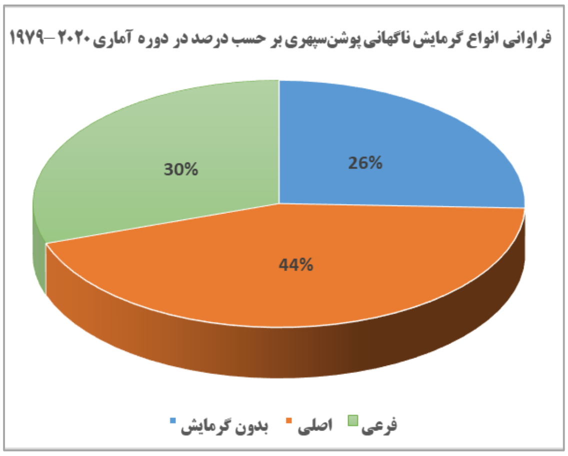
۲- رسم نمودار سری زمانی میانگین مداری دما و مؤلفه مداری باد برای موردهای نوع اصلی، برای تعیین تاریخ دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر بر اساس تعریف ارائه شده و ارائه ویژگی‌های دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر.

شایان ذکر است که مطابق تعریف گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر اصلی می‌تواند از اوایل نوامبر متولد شود و تا پایان مارس به فعالیت خود ادامه دهد. از آنجائی که روز صفر در چرخه زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و این روز مطابق پژوهش‌های پیشین (مرادی، ۱۳۹۹)، در ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس آشکار می‌شود، ازاین‌رو در این تحقیق این دوره به‌عنوان زمستان در نظر گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

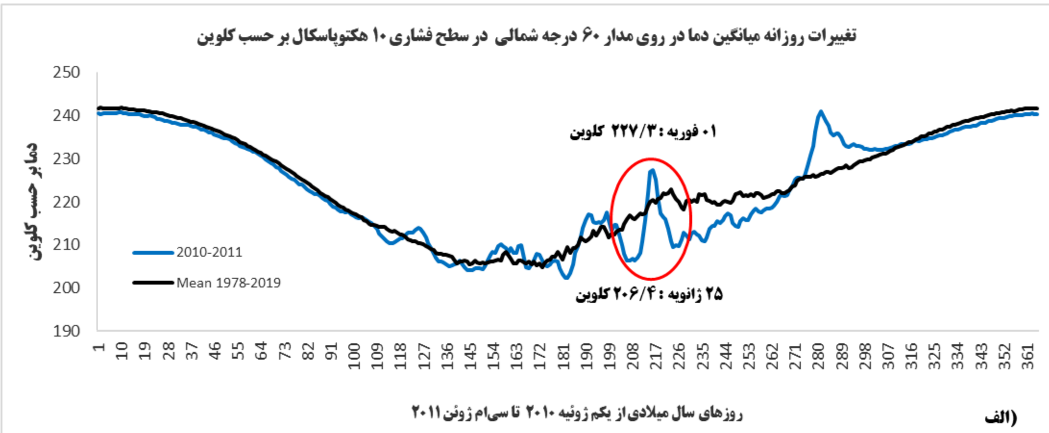
۳- ۱- آشکارسازی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر

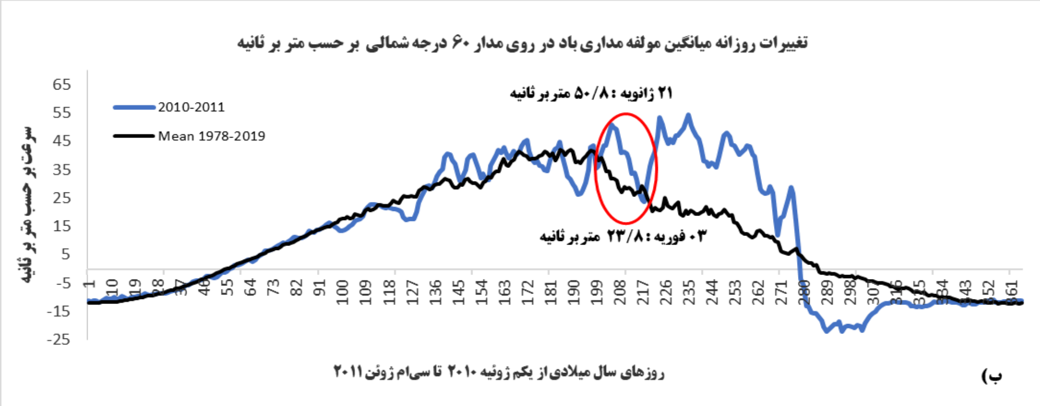
بر اساس تعریف ارائه شده در بندهای پیش، در دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۷۹، سری‌های زمانی سالانه میانگین مداری دما و مؤلفه مداری باد بررسی شد و انواع گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر بر اساس سال‌های رخداد آشکار گردید. در طول این دوره آماری فراوانی رخداد این پدیده بررسی شد. شکل ۲ فراوانی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر در دوره آماری انتخابی بر حسب درصد را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که در ۲۶ درصد تغییرات میانگین مداری دما کمتر از ۲۵ کلوین است. با وجودی‌که این افزایش دما قابل توجه است ولی مطابق تعریف ارائه شده، این افزایش دما در تعریف گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر قرار نمی‌گیرد. در ٤٤ درصد گرمایش از نوع اصلی و در ۳۰ درصد از نوع فرعی تشخیص داده شد.



شکل ۲- فراوانی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر بر حسب درصد در دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۷۹.

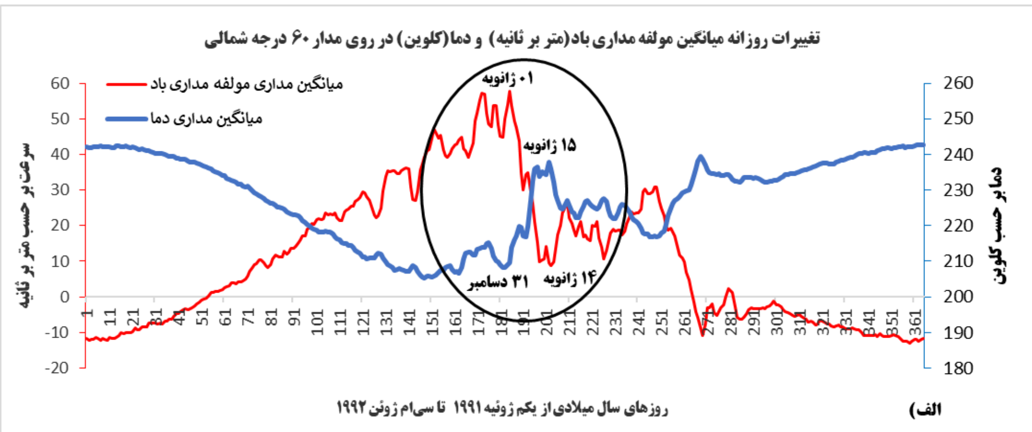
نمونه‌ای از موردهای بدون گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر به سال ۲۰۱۱–۲۰۱۰ اختصاص دارد. از روز بیست و پنجم ژانویه تا یکم فوریه ۲۰۱۱، میانگین مداری دما از ۲۰٦/٤ کلوین به ۲۲۷/۳ کلوین افزایش یافته است. اختلاف دمای این دو روز ۲۰/۹ کلوین است که کمتر از ۲۵ کلوین است. در بازه بیست و یکم ژانویه تا سوم فوریه اختلاف میانگین مؤلفه مداری باد نیز ٤٨/۲ متر بر ثانیه برآورد شده است. اگرچه این تغییرات نسبت به میانگین دوره آماری ۲۰۱۹–۱۹۷۸ که در شکل۳ آورده شده است، نیز قابل توجه است ولی در تعریف گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر جای نگرفته است.

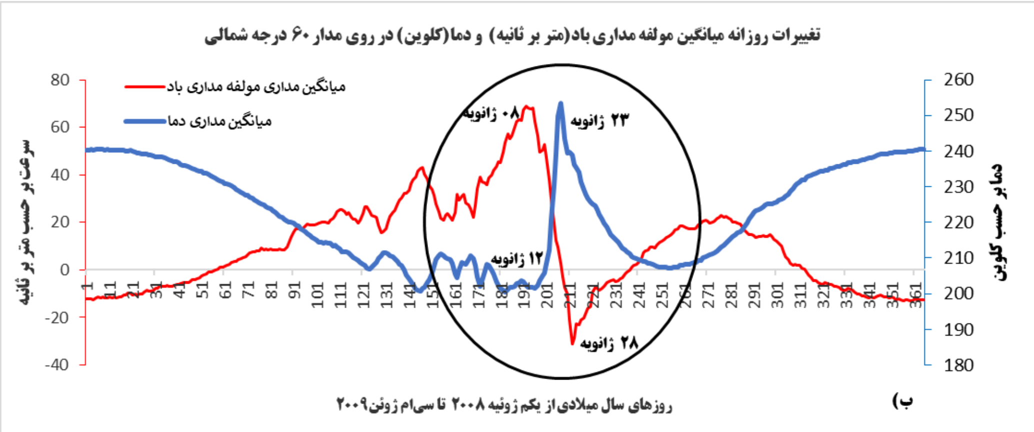




شکل ۳- تغییرات روزانه میانگین مداری دما بر حسب کلوین (الف) و مؤلفه مداری باد بر حسب متر بر ثانیه (ب) در روی مدار ٦٠ درجه شمالی در تراز فشاری ده هکتوپاسکال در روزهای یکم ژوئیه ۲۰۱۰ تا سی‌ام ژوئن ۲۰۱۱(حالت موردی بدون گرمایش).

در شکل ٤ نمونه‌ای از گرمایش نوع فرعی (شکل الف) و نوع اصلی (شکل ب) نشان داده شده است. در نوع فرعی گرمایش، در بازه سی و یکم دسامبر ۱۹۹۱ تا پانزدهم ژانویه ۱۹۹۲، میانگین مداری دما از ۲۰۹/۰ به ۲۳۵/۲ کلوین افزایش و میانگین مداری باد نیز از یکم ژانویه تا چهاردهم ژانویه ۱۹۹۲ از ٥٧/٥ به ۱۰/۰ متر بر ثانیه کاهش یافته است. از آنجائی که افزایش دما ٢٦/٢ کلوین و کاهش سرعت باد ٤٧/٥ متر بر ثانیه است و علامت مقادیر میانگین باد تغییر نکرده است، ازاین‌رو این مورد از نوع فرعی است. در نوع اصلی گرمایش، در بازه دوازدهم تا بیست و سوم ژانویه ۲۰۰۹، میانگین مداری دما از ۲۰۱/٦ به ۲٥۳/٤ کلوین افزایش و میانگین مداری باد نیز از هشتم تا بیست و هشتم ژانویه ۲۰۰۹ از ٦٨/٨ به ٣١/١- متر بر ثانیه کاهش یافته است. چون افزایش دما ٥١/٨ کلوین و کاهش سرعت باد ۱۰۳/۱ متر بر ثانیه است و علامت مقادیر میانگین باد نیز به منفی تغییر کرده است و سپس مقادیر مجدداً به مثبت تغییر یافته است، پس این مورد در دسته اصلی قرار گرفت.

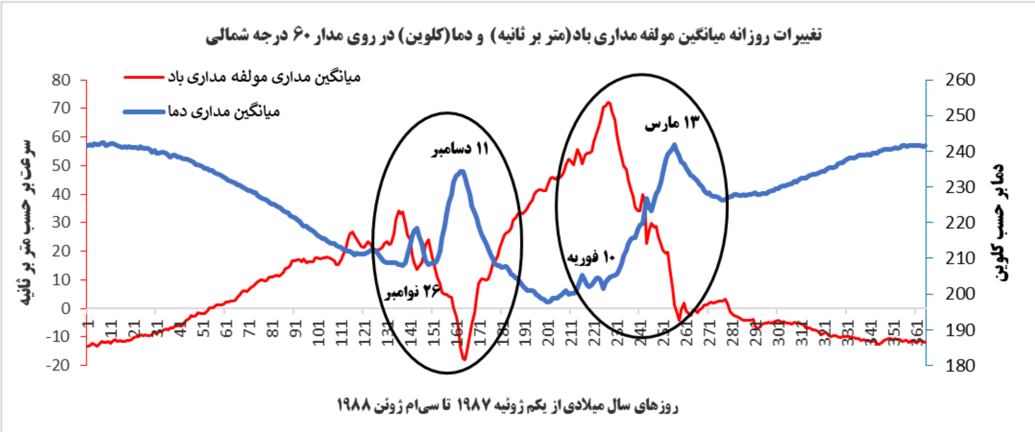




شکل ٤- تغییرات روزانه میانگین مداری دما (کلوین) و مؤلفه مداری باد (متر بر ثانیه) در روی مدار ٦٠ درجه شمالی در تراز فشاری ده هکتوپاسکال در روزهای یکم ژوئیه تا سی‌ام ژوئن. الف) نوع فرعی، ۱۹۹۱-۱۹۹۲، ب) نوع اصلی، ۲۰۰۸-۲۰۰۹.

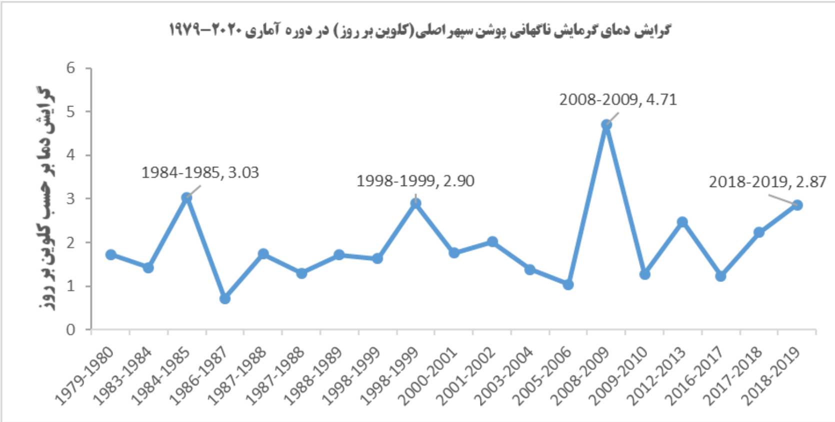
شایان ذکر است که نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج پژوهش پیشین مانند بوتلر و همکاران (۲۰۱۷) و اگی‌یاوا و همکاران (۲۰۱۷) مقایسه شد. در مقایسه با بخشی از تحقیقات بوتلر و همکاران (۲۰۱۷)، دیده شد که از بیست و سه مورد مشابه، دو مورد متفاوت بود. یکی از این موردها به سال ۱۹۸۸-۱۹۸۷ مربوط است. در این سال، باتلر و همکاران فقط گرمایش ١٤ مارس ۱۹۸۸ را آشکار کردند؛ درحالی‌که در پژوهش حاضر مطابق شکل ۵، دو مورد گرمایش اصلی در ۸ دسامبر ۱۹۸۷ و ١٤ مارس ۱۹۸۸ آشکار شده است که بیش از ۳۰ روز بین آن دو فاصله زمانی وجود دارد. مورد دیگر گرمایش مربوط به ۱۸ ژانویه ۲۰۰۳ است. بررسی‌ها نشان داد که در این مورد اختلاف میانگین مداری دمای کمتر از ۲۵ کلوین ثبت شده است که در پژوهش حاضر به‌عنوان گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر تعریف نشده است. در مقایسه با بخشی از تحقیقات اگی‌یاوا و همکاران (۲۰۱۷)، دیده شد که از ۲۵ مورد مشترک، در ۹ مورد اختلاف وجود دارد. این اختلاف به سبب استفاده از تغییر علامت گرادیان دما در مناطق جنب قطبی و نیز استفاده از داده‌های NCEP/NCAR، ERA40 و ERA-Interim، برای تعیین گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر در پژوهش فوق ایجاد شده است. بررسی‌ها نشان داد که اختلاف دما در نه مورد فوق، کمتر از ۲۵ کلوین بود. شایان ذکر است که در این تحقیق در بازه ۲۰۱۳-۱۹۸۰، چهارده مورد گرمایش نوع اصلی آشکار شده است که در پژوهش تائو و همکاران (۲۰۱۵)[1] نیز مشخص شده است.

1 Tao at el



شکل ۵- تغییرات روزانه میانگین مداری دما (کلوین) و مؤلفه مداری باد (متر بر ثانیه) در روی مدار ٦۰ درجه شمالی در تراز فشاری ده هکتوپاسکال در روزهای یکم ژوئیه ۱۹۸۷ تا سی‌ام ژوئن ۱۹۸۸.

تغییرات دما نسبت به روز در حالت‌های موردی آشکار شده نیز بررسی شد. شکل ٦ نسبت تغییرات دما به روز در حالت‌های گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر اصلی را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که گرمایش اصلی مربوط به دوره ۲۰۰۹–۲۰۰۸ با گرایش ٤/۷۱ کلوین بر روز بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. این کمیت نشان می‌دهد که اختلاف دمای زیاد در بازه زمانی کمی رخ داده است. در این مورد ۵۱/۸ کلوین در مدت ۱۱ روز اتفاق افتاده است که از بین داده‌های MERR2 در طول دوره آماری در نیمکره شمالی فقط یک بار رخ داده است. در نیمکره جنوبی نیز در سپتامبر ۲۰۱۹ اختلاف ۵۱ کلوین در مدت ٦ روز ثبت شده است که آن‌هم منحصربه‌فرد بوده است (یامازاکی و همکاران، ۲۰۱۹). در موردهای ۱۹۸۵–۱۹۸٤ در مدت ۱۲ روز ۳٦/٤ کلوین دما افزایش یافته است. در این مدت در مورد ۱۹۹۹–۱۹۹۸، ۳٤/۸ کلوین افزایش دما ثبت شده است. در گرمایش مربوط به مورد ۲۰۱۹–۲۰۱۸ اختلاف دمای ۲۵/۸ کلوین در مدت ۹ روز رخ داده است که سبب افزایش گرایش دما شده است. کمترین مقدار این کمیت نیز به گرمایش مورد ۱۹۸۷–۱۹۸٦ مربوط می‌شود. در این حالت میانگین مداری دما در مدت ۳۵ روز، ۲۵/۱ کلوین افزایش داشته است.



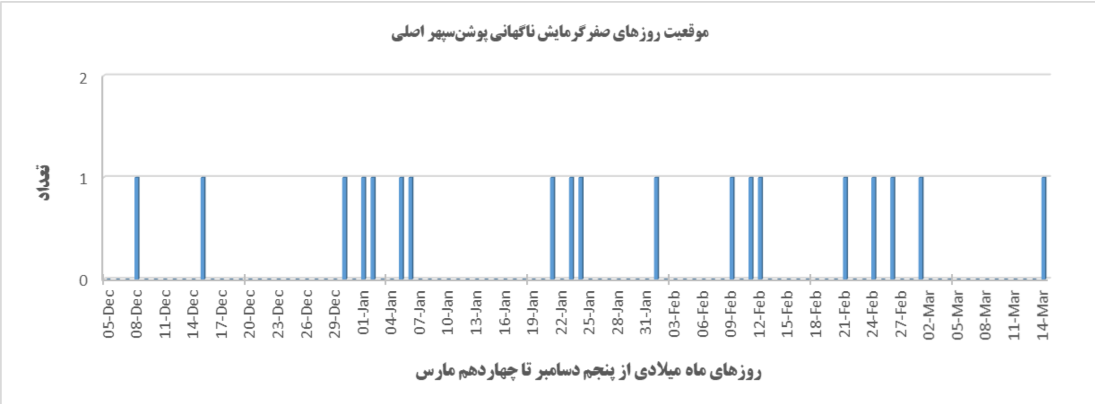
شکل ٦– تغییرات نسبت اختلاف میانگین مداری دما به روز (کلوین بر روز) در روی مدار ٦۰ درجه شمالی در تراز فشاری ده هکتوپاسکال در گرمایش‌های ناگهانی پوشن‌سپهر اصلی (۲۰۲۰–۱۹۷۹).

۳– ۲– دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر از نوع اصلی

بر اساس تعریف‌های ارائه شده در بندهای پیشین، روزهای تولد، صفر، کمترین مقدار و مرگ که در نحوه تعیین دوره زندگی گرمایش‌های نوع اصلی استفاده می‌شوند، برآورد شد. در جدول ۱ فراوانی رخداد گرمایش نوع اصلی در ماه‌های مختلف فصل سرد آورده شده است. از این جدول دیده می‌شود که بیشترین فراوانی روز تولد این پدیده، به ماه دسامبر، بیشترین فراوانی بر اساس روز صفر به ماه ژانویه و بیشترین فراوانی بر اساس روز مرگ به ماه فوریه اختصاص دارد. موقعیت روز صفر این دوره آماری در روزهای مختلف ماه نیز در شکل ۷ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که در طول دوره آماری انتخابی، در روزهای مختلف ماه دسامبر ۳ مورد، در ماه ژانویه ۸ مورد، در ماه فوریه ٦ مورد و در ماه مارس نیز ۲ مورد روز صفر ایجاد شده است.

جدول ۱– فراوانی ماهانه گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر اصلی (درصد) بر اساس روزهای انتخابی (۲۰۲۰–۱۹۷۹).

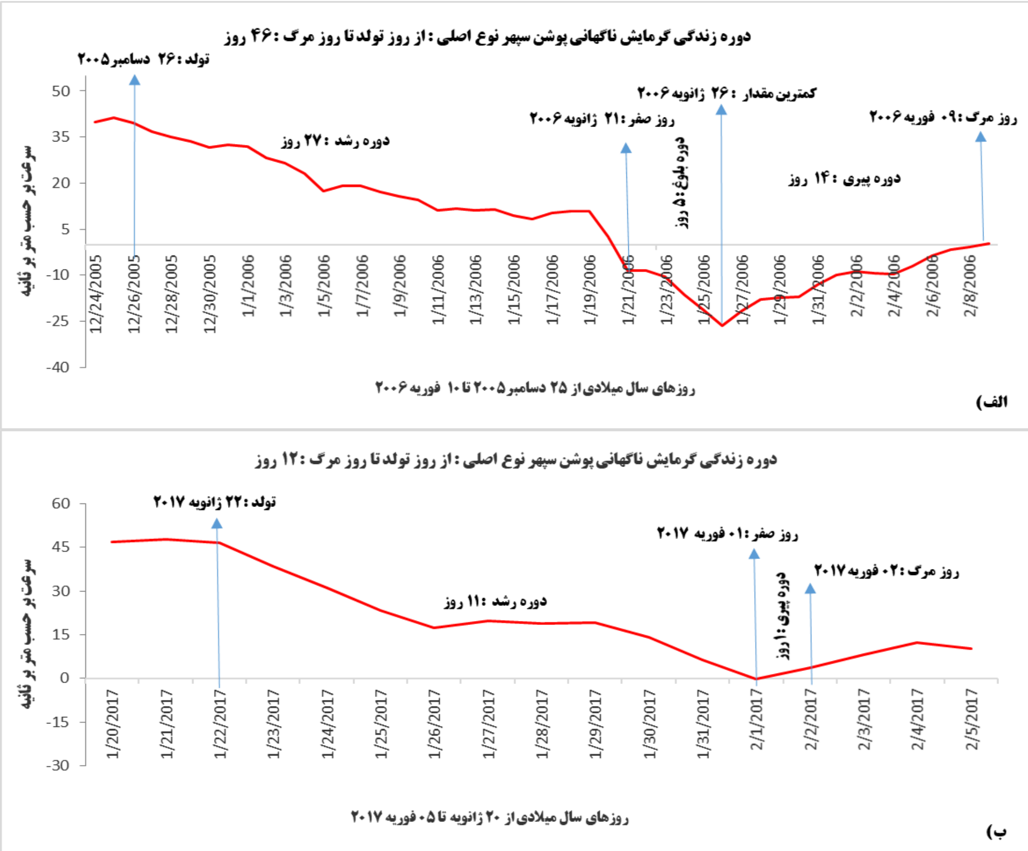
ماه	فراوانی بر حسب درصد		
	روز تولد	روز صفر	روز مرگ
نوامبر	۱۱	۰	۰
دسامبر	۳۳	۱۱	۱۱
ژانویه	۲۸	٤۲	۲۸
فوریه	۲۸	۳۷	۳۹
مارس	۰	۱۰	۲۲



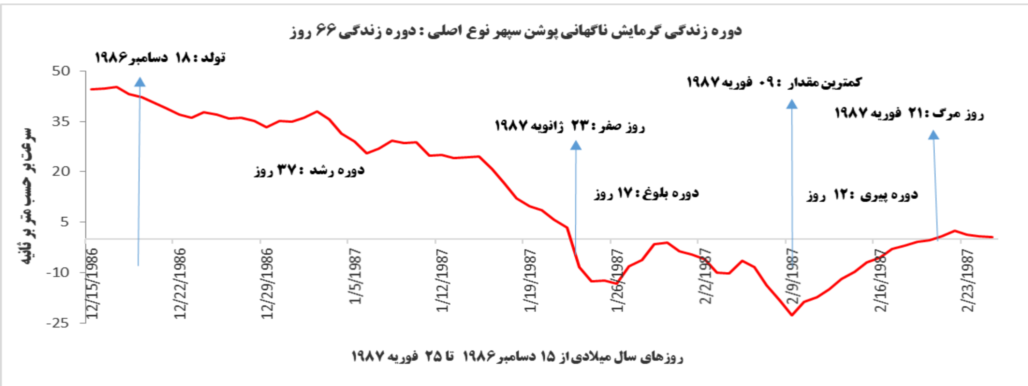
شکل ۷- موقعیت روزهای صفر گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر اصلی در دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۷۹.

شکل ۸ نمونه‌ای از تعیین دوره زندگی دو گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر نوع اصلی مختلف را نشان می‌دهد. از شکل ۸-الف) دیده می‌شود که طول دوره زندگی گرمایش نوع اصلی مربوط به دسامبر ۲۰۰۵ تا فوریه ۲۰۰٦، چهل‌وشش روز است که بیست‌وهفت روز آن به دوره رشد، پنج روز به دوره بلوغ و چهارده روز به دوره پیری اختصاص یافته است. در شکل ۸-ب) دوره زندگی یک نوع گرمایش نشان داده شده است که بدون طی کردن دوره بلوغ، به پیری رسیده است. در این نوع که در بازه ۲۰ ژانویه تا ۰۵ فوریه ۲۰۱۷ رخ داده است، روز صفر و روز کمترین مقدار میانگین مداری باد یکی است. در این حالت موردی دوره رشد یازده روز، دوره پیری یک روز و کل دوره زندگی ۱۲ روز طول کشیده است. نمونه‌ای دیگر از این نوع که بدون طی کردن دوره بلوغ، وارد دوره پیری شده است، در فاصله نهم فوریه تا سوم مارس ۱۹۸۰ رخ داده است.

شکل ۹ دوره زندگی گرمایش ناگهانی مورد ۲۳ ژانویه ۱۹۸۷ را نشان می‌دهد. از این شکل دیده می‌شود که این مورد دارای بلندترین دوره رشد، بلندترین دوره بلوغ و بلندترین دوره زندگی است که این نوع گرمایش را از دیگر موردها مشخص‌تر می‌کند. نتایج بررسی دوره زندگی نوزده گرمایش نوع اصلی در جدول ۲ نشان داده شده است. از این جدول دیده می‌شود که کوتاه‌ترین و بلندترین دوره رشد به ترتیب با ٦ و ۳۷ روز، در موردهای ششم ژانویه ۲۰۱۳ و بیست و سوم ژانویه ۱۹۸۷ ثبت شده است. بلندترین دوره بلوغ با ۱۷ روز تداوم، به مورد بیست و سوم ژانویه ۱۹۸۷ اختصاص دارد. بلندترین دوره پیری در این دوره آماری نیز ۲٦ روز است که به مورد بیست و چهارم ژانویه ۲۰۰۹ مربوط می‌شود. کوتاه‌ترین و بلندترین طول دوره زندگی نیز در این دوره آماری به ترتیب به مورد یکم فوریه ۲۰۱۷ و بیست و سوم ژانویه ۱۹۸۷ اختصاص دارد.



شکل ۸- تغییرات روزانه میانگین مؤلفه باد مداری (متر بر ثانیه) در روی مدار ٦٠ درجه شمالی در تراز فشاری ده هکتوپاسکال و دوره زندگی یک گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر از نوع اصلی الف) در بازه ٢٦ دسامبر ٢٠٠٥ تا ٠٩ فوریه ٢٠٠٦ و ب) در بازه ٢٠ ژانویه تا ٠٥ فوریه ٢٠١٧.



شکل ۹- تغییرات روزانه میانگین مؤلفه باد مداری (متر بر ثانیه) در روی مدار ٦٠ درجه شمالی در تراز فشاری ده هکتوپاسکال و دوره زندگی یک گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر از نوع اصلی در بازه ١٥ دسامبر ١٩٨٦ تا ٢٥ فوریه ١٩٨٧.

جدول ۲- ویژگی‌های دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر از نوع اصلی در دوره آماری ۲۰۲۰–۱۹۷۹.

دوره زندگی	روز مرگ	دوره پیری	دوره بلوغ	دوره رشد	روز صفر	روز تولد	سال	ردیف
۲۲	۰۳ مارس ۱۹۸۰	۱	۰	۲۱	۰۱ مارس ۱۹۸۰	۰۹ فوریه ۱۹۸۰	۱۹۷۹–۱۹۸۰	۱
۱۶	۲۸ فوریه ۱۹۸٤	۲	۲	۱۲	۲٤ فوریه ۱۹۸٤	۱۳ فوریه ۱۹۸٤	۱۹۸۳–۱۹۸٤	۲
۱۷	۰٦ ژانویه ۱۹۸۵	٤	۱	۱۲	۰۱ ژانویه ۱۹۸۵	۲۱ دسامبر ۱۹۸٤	۱۹۸٤–۱۹۸۵	۳
٦٦	۲۱ فوریه ۱۹۸۷	۱۲	۱۷	۳۷	۲۳ ژانویه ۱۹۸۷	۱۸ دسامبر ۱۹۸٦	۱۹۸٦–۱۹۸۷	٤
۲۱	۱۷ دسامبر ۱۹۸۷	۵	٤	۱۲	۰۸ دسامبر ۱۹۸۷	۲۷ نوامبر ۱۹۸۷	۱۹۸۷–۱۹۸۸	۵
۳۳	۱۷ مارس ۱۹۸۸	۲	۱	۳۰	۱٤ مارس ۱۹۸۸	۱۳ فوریه ۱۹۸۸	۱۹۸۷–۱۹۸۸	٦
۲۷	۰۲ مارس ۱۹۸۹	۵	٤	۱۸	۲۱ فوریه ۱۹۸۹	۰٤ فوریه ۱۹۸۹	۱۹۸۸–۱۹۸۹	۷
۲۸	۲۱ دسامبر ۱۹۹۸	٤	۲	۲۲	۱۵ دسامبر ۱۹۹۸	۲٤ نوامبر ۱۹۹۸	۱۹۹۸–۱۹۹۹	۸
۳٤	۱۹ مارس ۱۹۹۹۹	۱۲	۹	۱۳	۲٦ فوریه ۱۹۹۹	۱۳ فوریه ۱۹۹۹	۱۹۹۸–۱۹۹۹	۹
٤۰	۲۸ فوریه ۲۰۰۱	۸	٦	۲٦	۱۱ فوریه ۲۰۰۱	۱۷ ژانویه ۲۰۰۱	۲۰۰۰–۲۰۰۱	۱۰
۲۱	۰۳ ژانویه ۲۰۰۲	۱	۳	۱۷	۳۰ دسامبر ۲۰۰۱	۱٤ دسامبر ۲۰۰۱	۲۰۰۱–۲۰۰۲	۱۱
۳٦	۱۵ ژانویه ۲۰۰٤	٦	٤	۲٦	۰۵ ژانویه ۲۰۰٤	۱۱ دسامبر ۲۰۰۳	۲۰۰۳–۲۰۰٤	۱۲
٤٦	۰۹ فوریه ۲۰۰٦	۱٤	۵	۲۷	۲۱ ژانویه ۲۰۰٦	۲٦ دسامبر ۲۰۰۵	۲۰۰٦–۲۰۰۵	۱۳
٤٦	۲۳ فوریه ۲۰۰۹	۲٦	٤	۱٦	۲٤ ژانویه ۲۰۰۹	۰۹ ژانویه ۲۰۰۹	۲۰۰۸–۲۰۰۹	۱٤
۳٤	۱۲ فوریه ۲۰۱۰	۲	۱	۳۱	۰۹ فوریه ۲۰۱۰	۱۰ ژانویه ۲۰۱۰	۲۰۰۹–۲۰۱۰	۱۵
۲۹	۲۸ ژانویه ۲۰۱۳	۱۰	۱۲	٦	۰٦ ژانویه ۲۰۱۳	۰۱ ژانویه ۲۰۱۳	۲۰۱۲–۲۰۱۳	۱٦
۱۲	۰۲ فوریه ۲۰۱۷	۱	۰	۱۱	۰۱ فوریه ۲۰۱۷	۲۲ ژانویه ۲۰۱۷	۲۰۱٦–۲۰۱۷	۱۷
۲۹	۰۱ مارس ۲۰۱۸	۱۵	۲	۱۲	۱۲ فوریه ۲۰۱۸	۰۵ فوریه ۲۰۱۸	۲۰۱۷–۲۰۱۸	۱۸
۲۸	۱۹ ژانویه ۲۰۱۹	۹	۸	۱۱	۰۲ ژانویه ۲۰۱۹	۲۳ دسامبر ۲۰۱۸	۲۰۱۸–۲۰۱۹	۱۹
۱۲	-	۱	۰	٦	کمترین			
٦٦	–	۲٦	۱۷	۳۷	بیشترین			
۳۰/۹	–	۷/۲	٤/۳	۱۹/٤	میانگین			

٤- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از داده‌های باز تحلیلی MERR2 دما و مؤلفه مداری باد، گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر در طول دوره آماری ۲۰۲۰–۱۹۷۹ بررسی شد. در این دوره آماری ٤٤ ساله، بر اساس تعریف ارائه شده در این پژوهش، در ۱۹ سال، گرمایش نوع اصلی و در ۱۳ سال گرمایش نوع فرعی آشکار شد. در ۱۱ سال نیز گرمایشی آشکار نشد. بررسی‌ها نشان داد که بیشترین افزایش دما به میزان ۵۱/۸ کلوین در دوره کوتاه یازده روزه به گرمایش ژانویه ۲۰۰۹ اختصاص دارد که در طول دوره آماری انتخابی در نیمکره شمالی تا کنون چنین افزایش دمایی در مدت فوق، ثبت نشده است. مقایسه نتایج به دست آمده از این قسمت پژوهش با پژوهش‌های مرتبط قبل، نشان داد که این

پژوهش به سبب استفاده از داده‌های جدیدتر، علاوه بر تکمیل پژوهش‌های پیشین، تعاریفی را در آشکارسازی گرمایش نوع اصلی در نظر گرفته است و توانسته است که حالت‌های موردی بیشتری را آشکار کند.

بررسی فراوانی رخداد تولد و مرگ گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر اصلی در دوره آماری انتخابی نشان داد که هیچ گرمایشی در ماه مارس متولد نشده است و در ماه نوامبر نیز از بین نرفته است. بیشترین فراوانی روز تولد با ۳۳ درصد به ماه دسامبر و بیشترین فراوانی روز مرگ با ۳۹ درصد به ماه فوریه تعلق دارد.

بررسی دوره زندگی گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر اصلی بر اساس روز صفر، مشخص کرد که در این دوره آماری به‌طور متوسط، دوره رشد ۱۹/٤، دوره بلوغ ٤/۳، دوره پیری ۷/۲ و طول دوره زندگی ۳۰/۹ روز است. از مقایسه نتایج به دست آمده از این پژوهش با پژوهش‌های پیشین مرتبط، دیده شد که در این پژوهش دوره‌های بلوغ و پیری با تداوم‌های کوتاه‌مدت نیز می‌توانند آشکار شوند. نمونه‌ای از این نوع گرمایش در حالت‌های موردی یکم مارس ۱۹۸۰، یکم ژانویه ۱۹۸۵، چهاردهم مارس ۱۹۸۸، نهم فوریه ۲۰۱۰ و یکم فوریه ۲۰۱۷ مشخص شد.

کتابنامه

ریوندی، امیر؛ محمدی‌ها، امیر؛ تقی‌زاده، احسان؛ ۱۳۹۳. تفسیر سرمای شدید زمستانی شرق ایران با استفاده از مؤلفه‌های استراتوسفری. شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران. ۲۳ تا ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۳.

کرمی، خلیل؛ قادر، سرمد؛ موسوی، سید محمد؛ ۱۳۹۷. شناسایی حالت‌های بازتاب، جذب و انتشار امواج راسبی انتشار یابنده بالاسو. *مجله ژئوفیزیک ایران*. شماره ۲. صص ۳۷-۲۳.

مرادی، محمد؛ ۱۳۹۹. ارتباط گرمایش ناگهانی پوشن‌سپهر نوع اصلی با تغییرات تاوه قطبی در دوره آماری ۲۰۱۹-۱۹۷۹. *مجله فیزیک زمین فضا*. شماره ۳. صص ٦۲۰-٦۰۳.

میرکنی، مجید؛ محب‌الحجه، علیرضا؛ احمدی‌گیوی، فرهنگ؛ ۱۳۹۲. نقش گردش‌های پوشن‌سپهر در بی‌هنجاری‌های اقلیمی زمستان‌های ۱۳۸٦ و ۱۳۸۸. *مجله ژئوفیزیک*. شماره ۱. صص ۱۰٤-۸٦.

Ageyeva,VYu., Gruzdev, AN., Elokhov, AS., Mokhov, I.I. and Zueva, NE., 2017. Sudden Stratospheric Warmings: Statistical Character is tics and Influence on NO2 and O3 Total Contents. Atmospheric and Oceanic Physics, 53(5): 477–486.

Butler, AH. and Gerber, EP., 2018. Optimizing the definition of a sudden stratospheric warming. Journal of climate, 31: 2337–2344.

Butler, AH., Seidel, DJ., Hardiman, SC., Butchart, N., Birner, T. and Match, A., 2015. Defining sudden stratospheric warmings. American meteorological society, 96: 1913–1928.

Butler, AH., Sjoberg, JP., Seidel, DJ., and Rosenlof, KH., 2017. A sudden stratospheric warming compendium: Earth Syst. Sci. Data, 9: 63–76.

Charlton, A J. and Polvani, L., 2007. A new look at stratospheric sudden warmings. Part I. Climatology and modeling benchmarks. Journal of climate, 20: 449–469.

Choy, H., Kim, BM. and Choy, W., 2019. Type classification of sudden stratospheric warming based on pre- and postwarming periods. Journal of climate, 32: 2349-2367.

Cohen, J., and Jones,J., 2011.Tropospheric precursors and stratospheric warmings. Journal of climate, 24: 1780–1790.

Coy, L. and Pawson, S., 2019. The major stratospheric sudden warming of january2013. Analyses and forecasts in the GEOS-5 data assimilation system. https:// ntrs.nasa.gov/ search.jsp?R=20140012679 2019-12-07T17:27:26+00:00Z

Hengde, Z., Shouting, G. and Weisong, L., 2007. Study on two categories of sudden stratospheric warming. Acta meteorological sinica, 21: 450-464.

Kim, J., Son,SW., Gerber, EP. and Park, HS., 2017. Defining sudden stratospheric warming in climate models. Accounting for biases in model climatologies . Journal of climate, 30: 5529-5546.

Limpasuvan, V., Thompson, DWJ., Hartmann, D L., 2004. The life cycle of the northern hemisphere sudden stratospheric warmings. Journal of climate, 17:2584–2596.

McInturff, RM.1978. Stratospheric warmings: Synoptic, dynamic and general-circulation aspects (Tech. Rep. No. 541, Ref. Publ. 1017).

Rao, J., Ren, R., Chen, HYuY., and Zhou, Y., 2018. The stratospheric sudden warming event in February 2018 and its prediction by a climate system model. Journal of geophysics research atmospheric, 123: 13332–13345.

Suitland, Md. (available online at https:// ntrs.nasa.gov/ archive/ nasa/ casi.ntrs.nasa.gov/ 19780010687.pdf).

Tao, M., Konopka, P., Ploeger, F., Grooß, J.-U., Müller, R.,Volk, CM., Walker, KA. and Riese, M., 2015. Impact of the 2009 major sudden stratospheric warming on the composition of the stratosphere. Atmospheric chemistry and physics, 15: 8695–8715.

Vargin,PN. and Kiryushov, BM., 2019. Major Sudden Stratospheric Warming in the Arctic in February 2018 and Its Impacts on the Troposphere, Mesosphere, and Ozone Layer. Russian Meteorology and Hydrology, 44:112–123.

Yamazaki, Y., Matthias, V., Miyoshi, Y.,Stolle, C., Siddiqui, T., Kervalishvili, G. , Lastovicka, J., Kozubek, M., Ward, W., Themens, DR., Kirstoffffersen, S. and Alken, P., 2019. September 2019 Antarctic sudden stratospheric warming: quasi-6-day wave burst and ionospheric effects. Journal of geophysical research, Space physics, 123: 4094–4109.